

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-118613

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月30日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 1 J 9/00

G 0 1 J 9/00

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平9-281810

(22) 出願日 平成9年(1997)10月15日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 有賀 進

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(72) 発明者 小林 裕忠

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

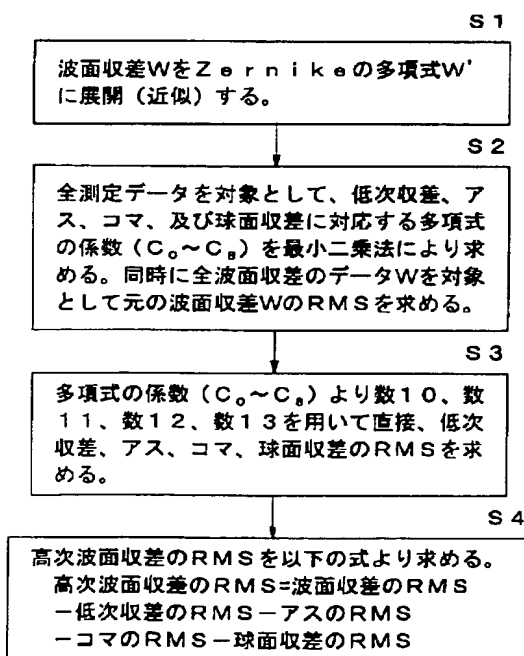
(74) 代理人 弁理士 奈良 武

(54) 【発明の名称】 波面収差の測定装置及び測定方法

(57) 【要約】

【課題】 ツェルニケ多項式の係数から簡単な演算で高次波面収差の平均二乗誤差 (RMS) を計算する。

【解決手段】 波面収差を測定し、この波面収差をツェルニケ多項式に展開して低次収差、アス、コマ及び球面収差を算出し、算出した低次収差、アス、コマ及び球面収差を上記波面収差から差し引いて高次波面収差とし、その平均二乗誤差を求めることを含み、上記波面収差の平均二乗誤差から、低次収差の平均二乗誤差と、アスの大きさの $1/(2\sqrt{6})$ 倍と、コマの大きさの $1/(3\sqrt{8})$ 倍と、球面収差の大きさの $1/(6\sqrt{5})$ 倍とを差し引くことにより高次波面収差の平均二乗誤差を求める。ツェルニケ係数を用いた簡単な計算を行い、且つ全測定ポイントについて行う計算が一回で良いため、簡単に算出することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 全波面収差Wを入力する入力手段と、
入力された全波面収差Wを記憶する第1の記憶手段と、
この第1の記憶手段から読み出した上記全波面収差Wの
平均二乗誤差を演算する第1の演算手段と、
この第1の演算手段の演算値を記憶する第2の記憶手段
と、
上記第1の記憶手段から読み出した上記全波面収差Wに
基づくツェルニケ多項式を展開して低次収差、非点収
差、コマ収差及び球面収差の大きさを算出し、この値を
それぞれ1倍、 $1/(2\sqrt{6})$ 倍、 $1/(3\sqrt{8})$ 倍及
び $1/(6\sqrt{5})$ 倍して、上記各収差の平均二乗誤差を
演算する第2の演算手段と、
この第2の演算手段の演算値を記憶する第3の記憶手段
と、
上記第2の記憶手段から読み出した全波面収差Wの平均
二乗誤差から、上記第3の記憶手段から読み出した低次
収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二乗誤
差を差し引いて、高次波面収差の平均二乗誤差を演算す
る第3の演算手段と、
この第3の演算手段の演算値を出力する出力手段と、
を備えていることを特徴とする波面収差の測定装置。

【請求項2】 全波面収差Wを測定し、この全波面収差W
の平均二乗誤差を演算すると共に、上記全波面収差Wに
基づくツェルニケ多項式を展開して低次収差、非点収
差、コマ収差及び球面収差の大きさを算出し、これらの
値をそれぞれ1倍、 $1/(2\sqrt{6})$ 倍、 $1/(3\sqrt{8})$
倍及び $1/(6\sqrt{5})$ 倍して、上記各収差の平均二乗誤
差を演算し、上記全波面収差Wの平均二乗誤差から上記
低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二
乗誤差を差し引いて高次波面収差の平均二乗誤差を演算
することを特徴とする波面収差の測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、波面収差を測定す
る装置及び測定方法に関し、特に、波面収差から高次波
面収差の平均二乗誤差を測定する装置及び方法に関す
る。

【0002】

【従来の技術】 高次波面収差は、波面収差から被検物の
セッティング時の傾き、ディフォーカスにより発生する
低次収差、被検物固有の収差であるアス（非点収差）、
コマ（コマ収差）及び球面収差にあたる波面収差を差し
引いたものである。この高次波面収差はその平均二乗誤
差（以下、RMSと記載する。）を求めるのが一般的で
ある。また、低次収差、アス、コマ及び球面収差にあた
る波面収差は元の波面収差をZernikeの多項式に
展開し、展開した多項式より最小二乗法を用いて算出さ
れている。

【0003】 図5は、高次波面収差 W'' のRMSを求め

る従来の方法を示している。ステップS100では、波
面収差WをZernike（ツェルニケ）多項式 W' に
展開（近似）する。この多項式 W' は数1の式で示され
る。数1において、 ρ 及び θ は極座標である。

【0004】

【数1】

$$\begin{aligned} \text{Zernikeの多項式} &= W'(\rho, \theta) \\ &= C_0 \\ &+ C_1 \rho \cos \theta \\ &+ C_2 \rho \sin \theta \\ &+ C_3 (2\rho^2 - 1) \\ &+ C_4 \rho^2 \cos 2\theta \\ &+ C_5 \rho^2 \sin 2\theta \\ &+ C_6 (3\rho^2 - 2) \rho \cos \theta \\ &+ C_7 (3\rho^2 - 2) \rho \sin \theta \\ &+ C_8 (6\rho^4 - 6\rho^2 + 1) \end{aligned}$$

【0005】 ステップS100に続くステップS110
では、全測定データを対象として最小二乗法により多項
式 W' のZernike係数 $C_0 \sim C_8$ を求める。そし
て、ステップS120では、全測定ポイントに対して係
数 $C_0 \sim C_8$ をZernike多項式 W' に代入して
 W' を再生する。ステップS130では、全測定ポイン
トに対して高次波面収差 W'' を $W'' = W - W'$ から算出
する。さらにステップS140では、全測定ポイントの
高次波面収差 W'' から高次波面収差 W'' のRMSを数2
の式によって算出する。

【0006】

【数2】

$$\text{RMS} = \sqrt{\langle W''^2 \rangle - (\langle W'' \rangle)^2}$$

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 従来の方法では、元の
波面収差をZernike多項式に展開し、Zerni
ke係数 $C_0 \sim C_8$ を求めた後に、元の波面収差より上
記各収差を差し引き、その値を基に高次波面収差のRM
Sを求めているので、ステップS110からステップS
140では全測定データ若しくは全測定ポイントを対象
としている。また、全測定ポイントに対して、係数 C_0
 $\sim C_8$ をZernike多項式 W' に代入して W' を再
生するステップがあるため、計算に長時間を要する問題
点がある。

【0008】 本発明は、このような従来技術の問題点を
鑑みてなされたものであり、Zernike係数から簡
単な演算で高次波面収差のRMSを測定することができ
る装置及び方法を提供する事を目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するた

め、請求項1の発明の波面測定装置は、全波面収差Wを入力する入力手段と、入力された全波面収差Wを記憶する第1の記憶手段と、この第1の記憶手段から読み出した上記全波面収差Wの平均二乗誤差を演算する第1の演算手段と、この第1の演算手段の演算値を記憶する第2の記憶手段と、上記第1の記憶手段から読み出した上記全波面収差Wに基づくツェルニケ多項式を展開して低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の大きさを算出し、この値をそれぞれ1倍、 $1/(2\sqrt{6})$ 倍、 $1/(3\sqrt{8})$ 倍及び $1/(6\sqrt{5})$ 倍して、上記各収差の平均二乗誤差を演算する第2の演算手段と、この第2の演算手段の演算値を記憶する第3の記憶手段と、上記第2の記憶手段から読み出した全波面収差Wの平均二乗誤差から、上記第3の記憶手段から読み出した低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二乗誤差を差し引いて、高次波面収差の平均二乗誤差を演算する第3の演算手段と、この第3の演算手段の演算値を出力する出力手段と、を備えていることを特徴とする。

【0010】請求項2の発明の測定方法は、全波面収差Wを測定し、この全波面収差Wの平均二乗誤差を演算すると共に、上記全波面収差Wに基づくツェルニケ多項式を展開して低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の大きさを算出し、これらの値をそれぞれ1倍、 $1/(2\sqrt{6})$ 倍、 $1/(3\sqrt{8})$ 倍及び $1/(6\sqrt{5})$ 倍して、上記各収差の平均二乗誤差を演算し、上記全波面収差Wの平均二乗誤差から上記低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二乗誤差を差し引いて高次波面収差の平均二乗誤差を演算することを特徴とする。

【0011】このような本発明では、数3～数12に示す式によって高次波面収差のRMSを計算する。これらの式において、 W_k は上述した数1の式で示されるZernike多項式における各項であり、 k は1～9の正数である。すなわち、

$$W_1 = C_0$$

$$W_2 = C_1 \rho \cos \theta$$

$$W_3 = C_2 \rho \sin \theta$$

$$W_4 = C_3 (2\rho^2 - 1)$$

$$W_5 = C_4 \rho^2 \cos \theta$$

$$W_6 = C_5 \rho^2 \sin \theta$$

$$W_7 = C_6 (3\rho^2 - 2) \rho \cos \theta$$

$$W_8 = C_7 (3\rho^2 - 2) \rho \sin \theta$$

$$W_9 = C_8 (6\rho^4 - 6\rho^2 + 1)$$

である。

【0012】数3の式は、以上の $W_1 \sim W_9$ を基にして、各波面収差から RMS_k を求める式である。

【0013】

【数3】

$$RMS_k = \sqrt{(\langle W_k^2 \rangle - (\langle W_k \rangle)^2)}$$

【0014】この数3における $\langle W_k \rangle$ は、数4の式に定義される数値であり、 $\langle W_k^2 \rangle$ は、数5の式によって定義される数値である。

【0015】

【数4】

$$\langle W_k \rangle = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^1 W_k \rho d\rho d\theta}{\int_0^{2\pi} \int_0^1 \rho d\rho d\theta}$$

【0016】

【数5】

$$\langle W_k^2 \rangle = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^1 W_k^2 \rho d\rho d\theta}{\int_0^{2\pi} \int_0^1 \rho d\rho d\theta}$$

【0017】数1におけるZernike多項式の定義から、Zernikeの係数を用いることにより、低次収差の大きさを数6の式から求められ、アスの大きさは数7の式から求められ、コマの大きさは数8の式から、球面収差の大きさは数9の式からそれぞれ求められる。

【0018】

【数6】

$$\text{低次収差の大きさ} = \frac{1}{2} \sqrt{C_1^2 - C_2^2} + \frac{1}{\sqrt{3}} C_3$$

【0019】

【数7】

$$\text{アスの大きさ} = 2\sqrt{C_4^2 + C_5^2}$$

【0020】

【数8】

$$\text{コマの大きさ} = 3\sqrt{C_6^2 + C_7^2}$$

【0021】

【数9】

$$\text{球面収差の大きさ} = 6C_8$$

【0022】さらに、数1及び数3、4の式を基に数学的に求めると、低次収差のRMSは数10の式から算出され、アスのRMSは数11の式から、コマのRMSは数12の式から、球面収差のRMSは数13の式からそれぞれ算出される。

【0023】

【数10】

$$\text{低次収差のRMS} = \frac{1}{2} \sqrt{C_1^2 - C_2^2} + \frac{1}{\sqrt{3}} C_3$$

【0024】

【数11】

$$\text{アスのRMS} = \frac{1}{2\sqrt{6}} \cdot 2\sqrt{C_4^2 + C_5^2}$$

【0025】

【数12】

$$\text{コマのRMS} = \frac{1}{3\sqrt{8}} \cdot 3\sqrt{C_6^2 + C_7^2}$$

【0026】

【数13】

$$\text{球面収差のRMS} = \frac{1}{6\sqrt{5}} \cdot 6C_8$$

【0027】以上のことから、高次波面収差のRMSを次に示す式によって算出することができる。すなわち、
(高次波面収差のRMS) = (波面収差のRMS) - (低次収差のRMS) - (アスのRMS) - (コマのRMS) - (球面収差のRMS)

【0028】図1は、本発明のフローチャートを示す。ステップS1では、波面収差Wを数1で示されるZernike多項式W'に展開(近似)する。ステップS2では、全測定データを対象として、低次収差、アス、コマ及び球面収差に対応する多項式の係数(C₀～C₈)を最小二乗法により求める。同時に全波面収差のデータWを対象として元の波面収差WのRMSを求める。

【0029】ステップS3では、多項式の係数(C₀～C₈)から数10、数11、数12、数13の式を用いて直接、低次収差、アス、コマ、球面収差のRMSを求める。ここで、低次収差のRMSは数6の式による低次収差の大きさに対して1倍、アスのRMSは数7の式によるアスの大きさに対して1/(2√6)倍、コマのRMSは数8の式によるコマの大きさに対して1/(3√8)倍、球面収差のRMSは数9の式による球面収差の大きさに対して1/(6√5)倍とする。

【0030】ステップS4では、高次波面収差のRMSを以下の式より求める。

$$\begin{aligned} (\text{高次波面収差のRMS}) = & (\text{波面収差のRMS}) - \\ & (\text{低次収差のRMS}) - (\text{アスのRMS}) - (\text{コマのRMS}) - (\text{球面収差のRMS}) \end{aligned}$$

【0031】以上のステップにおいて、全測定データ若しくは全測定ポイントを対象としているのはステップS2のみである。これに対し、従来では、全測定データ若しくは全測定ポイントを対象としてステップが4回あり、さらに、全測定ポイントに対して、係数C₀～C₈をZernike多項式W'に代入してW'を再生するステップがある。従って、以上の本発明によれば計算時間を格段に短縮することができる。

【0032】

【発明の実施の形態】

(実施の形態1) 図2は、実施の形態1における測定装置のブロック図を示し、入力手段11、記憶手段12、演算手段13及び出力手段14を備えている。

【0033】入力手段11は、干渉計、形状測定器などの波面収差を測定する装置であり、測定によって得られた全波面収差を演算手段13に出力する。

【0034】記憶手段12は、複数のメモリを有している。メモリ1は、入力手段11が測定した全波面収差W

を記憶する。メモリ2はZernike多項式のC₀～C₈を記憶する。メモリ3は全波面収差Wから算出した元の波面収差のRMSを記憶する。メモリ4は算出された低次収差、アス、コマ、球面収差のそれぞれのRMSを記憶する。メモリ5は高次波面収差のRMSを記憶する。

【0035】演算手段13は、全波面収差Wの平均二乗誤差を演算する第1の演算部と、全波面収差Wに基づくZernike多項式を展開して低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の大きさを算出し、この値をそれぞれ1倍、1/(2√6)倍、1/(3√8)倍及び1/(6√5)倍し、それぞれの収差の平均二乗誤差を演算する第2の演算部と、全波面収差Wの平均二乗誤差から低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二乗誤差を差し引いて、高次波面収差の平均二乗誤差を演算する第3の演算部とを有している。

【0036】出力手段14は、ディスプレイ、プリンタ等からなり、演算手段13によって算出された高次波面収差のRMSを出力する。

【0037】図3は、以上の図2の装置を用いて、高次波面収差のRMSを求めるフローチャートである。この実施の形態において、入力手段11としては、干渉計を用いるものである。

【0038】ステップS11は波面収差測定のステップであり、干渉計の波面収差測定部で波面収差Wを測定し、全波面収差Wをメモリー1に記憶する。

【0039】ステップS12は多項式の係数演算・波面収差のRMS演算のステップであり、メモリー1から全測定データを逐一読み込み、最小二乗法によりZernike多項式の係数(C₀～C₈)を求め、各係数をメモリー2へ記憶する。並行して、全波面収差のデータWを対象として波面収差のRMSを求めメモリー3に記憶する。

【0040】ステップS13は各RMSの演算のステップであり、Zernike多項式の係数(C₀～C₈)をメモリー2から読み込み、数10、数11、数12、数13の式を用いて、低次収差、アス、コマ、球面収差のRMSを求め、各RMSをメモリー4へ記憶する。

【0041】ステップS14は高次波面収差のRMSの演算のステップであり、波面収差のRMSをメモリー3から、低次収差、アス、コマ、球面収差のRMSをメモリー4からそれぞれ読み出し、次の式によって高次波面収差のRMSを求める。

$$\begin{aligned} (\text{高次波面収差のRMS}) = & (\text{波面収差のRMS}) - \\ & (\text{低次収差のRMS}) - (\text{アスのRMS}) - (\text{コマのRMS}) - (\text{球面収差のRMS}) \end{aligned}$$

【0042】ステップS15は高次波面収差のRMSの記憶・表示・印刷処理のステップであり、ステップS14で求めた高次波面収差のRMSをメモリー5に記憶すると共に、他の情報と共に出力手段14により表示又は

印刷する。

【0043】この実施の形態において、ステップS12～15は干渉計の処理装置で実施でき、メモリー1からメモリー5は干渉計の処理装置のメモリーを使用することによって実施することができる。

【0044】このような実施の形態では、一般的な波面収差を解析できる干渉計を用い、係数を掛け合わせる簡単な演算によって、高次波面収差のRMSを算出することが可能となる。

【0045】(実施の形態2)図4は、実施の形態2のフローチャートを示し、高次波面収差のRMSを計算する。この実施の形態では、位相変調素子(ビエゾ素子)によるフリンジスキャン法を用いることによって波面収差を解析することが可能な干渉計を使用して高次波面収

$$\begin{aligned} (\text{高次波面収差のRMS}) &= (\text{波面収差のRMS}) - (\text{低次収差のRMS}) - \\ &(\text{アスのRMS}) - (\text{コマのRMS}) - (\text{球面収差のRMS}) \\ &= (\text{残存収差のRMS}) - (\text{アスのRMS}) - (\text{コマのRMS}) - (\text{球面収差のRMS}) \end{aligned}$$

【0048】このような実施の形態では、一般的な波面収差を解析できる干渉計を用いて被検物の波面収差を測定した結果から、係数を掛け合わせる演算によって、簡単に高次波面収差のRMSを算出することができる。

【0049】以上の説明から、本発明は以下の発明を包含している。

(1) 全波面収差Wを測定し、全波面収差Wから全波面収差、低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二乗誤差を演算し、演算された全波面収差Wの平均二乗誤差から上記低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二乗誤差を差し引いて、高次波面収差の平均二乗誤差を求めることを特徴とする高次波面収差の測定方法。

【0050】(2) 上記(1)項の発明において、上記低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二乗誤差は、各収差の大きさをそれぞれ1倍、 $1/(2\sqrt{6})$ 倍、 $1/(3\sqrt{8})$ 倍及び $1/(6\sqrt{5})$ 倍して求めることを特徴とする高次波面収差の測定方法。

【0051】(3) 上記(1)項の発明において、上記低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二乗誤差は、上記全波面収差Wに基づくツェルニケ多項式を展開して求めたツェルニケ係数を演算して求めることを特徴とする高次波面収差の測定方法。

【0052】(4) 上記(1)項の発明において、上記低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二乗誤差は、上記全波面収差Wに基づくツェルニケ多項式を展開して求めたツェルニケ係数を演算して各収差の大きさを求め、この値をそれぞれ1倍、 $1/(2\sqrt{6})$ 倍、 $1/(3\sqrt{8})$ 倍、及び $1/(6\sqrt{5})$ 倍して求めることを特徴とする高次波面収差の測定方法。

【0053】(5) 全波面収差Wの入力手段と、入力された全波面収差Wを記憶する第1の記憶手段と、この第

差のRMSを求めるものである。

【0046】ステップS21は、干渉計による被検物の波面収差を測定するステップである。ステップS22は、干渉計の波面収差の解析による測定結果の出力ステップである。このステップS22では、残存収差のRMS、アスの大きさ、コマの大きさ、球面収差の大きさ等が出力される。残存収差のRMSは波面収差のRMSから低次収差のRMSのみを差し引いた数値であり、次の式によって算出される。(残存収差のRMS) = (波面収差のRMS) - (低次収差のRMS)

【0047】ステップS23は、高次波面収差のRMSを求めるステップである。このステップS23では、ステップS22の出力結果を基にして、以下の式より高次波面収差のRMSを求める。

1の記憶手段から読み出した全波面収差Wの平均二乗誤差を演算する第1の演算手段と、この第1の演算手段の演算値を記憶する第2の記憶手段と、上記第1の記憶手段から読み出した全波面収差Wから、低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二乗誤差を演算する第2の演算手段と、第2の演算手段の演算値を記憶する第3の記憶手段と、第3の記憶手段から読み出した全波面収差Wの平均二乗誤差から、上記第2の記憶手段から読み出した低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二乗誤差を差し引くことにより高次波面収差の平均二乗誤差を演算する第3の演算手段と、第3の演算手段の演算値を出力する出力手段と、を備えていることを特徴とする高次波面収差の測定装置。

【0054】(6) 上記(5)項の発明において、上記第1の演算手段は、低次収差の大きさを1倍してこの収差の平均二乗誤差を求め、非点収差の大きさを $1/(2\sqrt{6})$ 倍してこの収差の平均二乗誤差を求め、コマ収差の大きさを $1/(3\sqrt{8})$ 倍して、この収差の平均二乗誤差を求め、球面収差の大きさを $1/(6\sqrt{5})$ 倍して、この収差の平均二乗誤差を求めることを特徴とする高次波面収差の測定装置。

【0055】(7) 上記(5)項の発明において、上記第1の演算手段は、上記全波面収差Wに基づくツェルニケ多項式を展開して求めたツェルニケ係数を演算して、上記低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二乗誤差を求めることを特徴とする高次波面収差の測定装置。

【0056】(8) 上記(5)項の発明において、上記第1の演算手段は、上記全波面収差Wに基づくツェルニケ多項式を展開して求めたツェルニケ係数を演算して上記低次収差、非点収差、コマ収差、及び球面収差の大きさを求め、この値をそれぞれ1倍、 $1/(2\sqrt{6})$ 倍、

$1/(3\sqrt{8})$ 倍及び $1/(6\sqrt{5})$ 倍することにより上記低次収差、非点収差、コマ収差及び球面収差の各平均二乗誤差を求めることを特徴とする高次波面収差測定装置。

【0057】(9) 上記(5)の発明において、上記入力手段は、干渉計であることを特徴とする高次波面収差測定装置。

【0058】

【発明の効果】以上のように請求項1の発明によれば、Zernike多項式の係数を基にして演算手段が簡単な演算を行うことによって、波面収差を算出するため、干渉計等の簡単な装置で波面収差を求めることができる。

【0059】請求項2の発明によれば、波面収差のZernikeの係数から簡単な演算で高次波面収差のRM

Sを求めることができ、全測定ポイントに対して行う面倒な計算が1回で良く、このため高次波面収差のRMSの計算時間を飛躍的に短縮することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による処理のフローチャートである。

【図2】本発明の実施の形態1の測定装置のブロック図である。

【図3】実施の形態1のフローチャートである。

【図4】実施の形態2のフローチャートである。

【図5】従来の測定方法を示すフローチャートである。

【符号の説明】

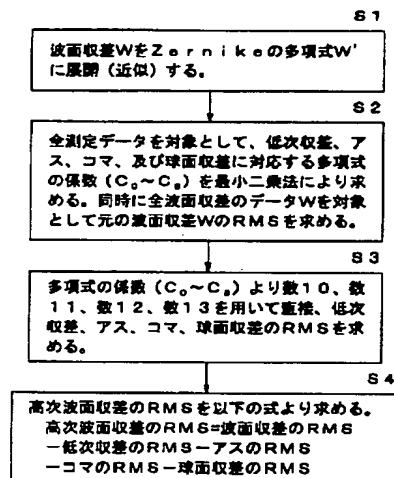
11 入力手段

12 記憶手段

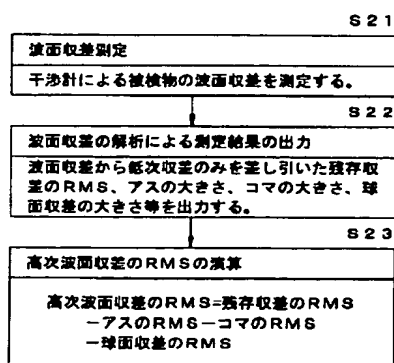
13 演算手段

14 出力手段

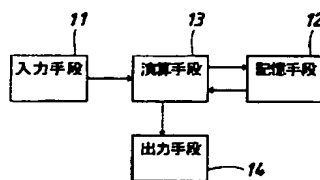
【図1】



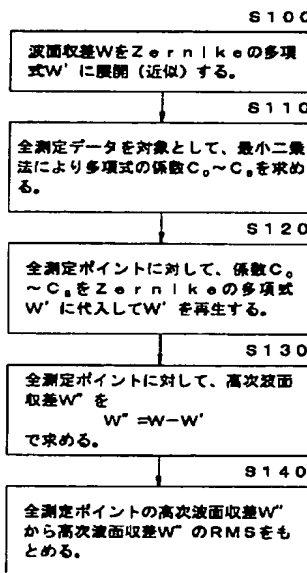
【図4】



【図2】



【図5】



【図3】

